

纳米科技概论

◎ 沈海军 编著



國防工業出版社
National Defense Industry Press

TB383

16

2007

纳米科技概论

沈海军 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书共分8章。从纳米科技的发展、纳米材料特性及其制备、纳米材料的表征、纳米电子学、纳米生物学、纳米机械学、纳米力学、纳米科技的应用等几个方面讲述了纳米科技的几个主要学科分支以及相应的研究现状。

图书在版编目(CIP)数据

纳米科技概论/沈海军编著. —北京:国防工业出版社,
2007.2
ISBN 978-7-118-04962-6

I. 纳... II. 沈... III. 纳米材料—概论 IV.
TB383

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 003179 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 8½ 字数 177 千字

2007 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 20.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

纳米科技是 20 世纪 90 年代出现的一门新兴的科学技术。纳米技术是在纳米尺寸范围内认识和改造自然,通过直接操纵和安排原子、分子而创造新物质的高新技术。纳米不仅仅是一个空间尺度上的概念,还是一种新的思维方式。它的出现表明人类改造自然的能力已经延伸到了原子水平,标志着人类技术已经进入了一个新的时代——纳米科技时代。

科学家预言,纳米时代的到来不会很久,纳米技术的应用将远远超过计算机技术的应用,并成为未来信息的核心。利用纳米技术,将来一台大型计算机的主机都可以压缩放进口袋,随身携带。正如中国著名科学家钱学森所说的那样,纳米科技将会带来一次技术革命,从而将引起 21 世纪又一次产业革命。

21 世纪以来,各国为提高自身的竞争力,纷纷拉开了纳米科技竞争的战幕。我国政府也通过各种计划对纳米技术的研究进行了大力扶持,并在许多领域取得令人瞩目的进展。在这种大背景下,我国许多高校相继成立了“纳米研究中心”,增加了对纳米学科的扶持力度,在研究生阶段的相关专业上不同程度地增添了相应的研究方向,并开始招生。但相比之下,本科阶段的纳米学科建设显得相对薄弱。

21 世纪初,教育部、科技部等五部委联合下发了《国家纳

米科技发展纲要 2001—2010》以及落实“……要在物理、化学、生物、机械、电子学、计算机学等专业设置有关纳米科技新课程”的要求。为了迎接 21 世纪科学技术的飞速发展以及纳米时代的到来,并使纳米科技的知识得到进一步的普及,我们编写了适用于本科生使用的《纳米科技概论》教材。该教材从纳米科技的发展、纳米材料特性及其制备、纳米材料的表征、纳米电子学、纳米生物学、纳米机械学、纳米力学、纳米科技的应用等几个方面讲述了纳米科技的几个主要学科分支以及相应的研究现状。通过本教材,可以使读者全面理解纳米科技的内涵;从不同学科的角度认识物质在纳米尺度的新现象、新规律;掌握纳米材料的表征以及纳米科技在化工、微电子、医药、军事等领域应用的相关知识;了解纳米科技相关的理论、技术、工艺,正确对待目前市场上借用“纳米”概念进行炒作的“伪纳米”现象。

本教程的学时数以 32 学时为宜。适宜作理工科本科生公共选修课教材,同时,也可供相关专业的研究人员、技术人员、生产人员以及大专院校师生阅读。

本书涉及的范围较广,由于编者水平限制,编写中必然存在许多不足与错误之处,希望读者提出批评和宝贵意见。

编 者

2006 年 10 月于南京航空航天大学

目 录

第一章 总论	1
第一节 纳米科技的发展历史及其意义	1
一、人类对宏观世界与微观世界的探索	1
二、纳米概念的提出与纳米科技的发展历史	4
三、纳米科技的内涵、研究方法与重要意义	10
第二节 国内外纳米科技的发展与研究现状	13
一、美国纳米科技的发展现状	13
二、日本纳米科技的发展现状	21
三、欧盟纳米科技的发展现状	29
四、我国纳米科技的发展现状	36
思考题	42
第二章 纳米材料及其制备技术	44
第一节 纳米材料的定义、分类与优异特性	44
一、纳米材料的定义与分类	44
二、纳米材料的优异特性	45
第二节 纳米超微颗粒及其制备技术	49
一、固相法制备纳米超微颗粒	49
二、液相法制备纳米超微颗粒	51

三、气相法制备纳米超微颗粒	55
第三节 纳米碳管、富勒烯及其制备技术	58
一、纳米碳管及其制备	58
二、富勒烯及其制备	71
第四节 纳米薄膜及其制备技术	75
一、纳米薄膜的分类	75
二、纳米薄膜的性能	77
三、纳米薄膜的制备	82
四、LB膜的制备及其应用	85
第五节 纳米块体材料及其制备	89
一、纳米块体的制备	89
二、纳米块体材料的性能	92
思考题	100
第三章 纳米计量学与纳米材料的表征	102
第一节 纳米计量学的发展	102
第二节 超微粉体的测试技术	105
一、超微粉体的表征	105
二、超细粉体粒度的表征技术	106
第三节 纳米计量学中的表面电子光学技术	112
一、低能电子衍射(LEED)	113
二、电子显微镜和电子探针	114
三、俄歇电子谱	115
第四节 扫描探针显微技术	116
一、扫描隧道显微镜(STM)	117
二、原子力显微镜(AFM)与扫描力显微镜(SFM)	120
三、近场光学显微镜(SNOM)及其应用	121

四、弹道电子发射显微镜(BEEM)	123
思考题	124
第四章 纳米/分子电子学	126
第一节 微电子器学面临的极限	126
第二节 纳米电子学与纳米电子器件	128
一、纳米电子学与量子结构	128
二、纳米电子器件	129
第三节 分子电子学与分子电子器件	134
一、分子电子学概述	134
二、分子电子器件	135
第四节 纳米电子器件制备与分子电子学相关技术	140
一、纳米电子器件制备技术	140
二、分子电子学相关技术	146
三、纳米/分子电子技术中的若干关键问题	148
思考题	150
第五章 纳米生物学	153
第一节 纳米医学	153
一、纳米技术与临床医学	154
二、纳米医用材料	157
三、医用纳米机器	159
四、医用纳米机器人	161
第二节 生物芯片技术	161
一、生物芯片的概念	162
二、生物芯片的分类	163
三、基因芯片技术的应用	163

第三节	DNA 计算机	165
一、	DNA 计算机概述	165
二、	DNA 计算的出发点和理论依据	167
三、	DNA 计算的优势	168
四、	DNA 计算的应用	170
第四节	基因工程	171
一、	国际人类基因组计划	171
二、	基因研究对人类生活、社会的影响	172
思考题		178
第六章	纳米/微机械学	179
第一节	纳米/微型机械发展现状	180
第二节	纳米机械学的研究方向	183
一、	微机构学	183
二、	微结构材料力学	184
三、	纳米摩擦学	186
第三节	微机械加工技术	188
一、	微机构加工技术	189
二、	MEMS 装配技术与封装技术	190
三、	微型机械测试技术	191
第四节	纳米摩擦学	192
一、	纳米摩擦学的背景和影响因素	193
二、	纳米摩擦学的主要研究方法	195
思考题		197
第七章	纳米力学	199
第一节	纳米力学的内涵	199

一、纳米力学的内涵	199
二、纳米力学与物理力学	201
第二节 试验纳米力学	202
一、纳米硬度技术	202
二、纳米云纹法	206
三、SFM 纳米力学测试	208
第三节 计算纳米力学	209
一、分子动力学方法	209
二、蒙特卡罗模拟(MC)	211
三、准连续介质算法	212
四、混合方法	213
第四节 纳米碳管力学	214
一、纳米碳管力学特性试验	214
二、纳米碳管力学特性理论模拟	217
第五节 针尖力学	219
一、针尖力学的研究方法 with 现状	220
二、多学科跨尺度分析在针尖力学研究的应用前景	222
思考题	223
第八章 纳米技术的应用	225
第一节 纳米技术在化工催化领域中的应用	225
第二节 纳米技术在陶瓷、微电子领域中的应用	228
一、陶瓷领域中的应用	228
二、微电子领域中的应用	229
第三节 纳米技术在医药学、生物工程领域中的应用	231
一、医药学领域中的应用	231
二、生物工程领域中的应用	233

第四节 纳米技术在军事领域中的应用	237
一、纳米材料在军事中的应用	237
二、纳米卫星的军事应用	239
三、纳型飞行器与传感器	242
四、分子传感器	244
五、纳米生物战	246
思考题	246
参考文献	248

第一章 总 论

纳米科技是 20 世纪 80 年代末、90 年代初才逐步发展起来的前沿、交叉性新型学科领域。它利用现代化的微观测试技术和手段,将人类认识自然、改造自然的工作带入一个全新的领域——介观世界。在这片全新的领域内,有许多新的规律和现象有待发现,有许多新的技术和器件有待开发。早在 1959 年,美国物理学家、诺贝尔奖获得者费曼发表了名为《There is plenty of room on the bottom》的演讲,被公认为是纳米科学技术思想的来源。他在这篇演讲中所做的惊世预言“至少依我来看,物理学的规律不排除一个原子一个原子地制造物品的可能性”将会变成现实。

目前,几乎所有发达国家都对纳米科技的研发进行了大量投入,试图抢占这一 21 世纪科技战略的制高点。因此,有人肯定地预言,纳米科技的迅猛发展将在 21 世纪引发一场新的工业革命。

第一节 纳米科技的发展历史及其意义

一、人类对宏观世界与微观世界的探索

在这里有必要简要地回顾一下人类对物质认识研究——

物质观的演进历史。物质是由什么组成的,这是一个古老而又不衰的科学命题。人类对物质世界的认识,一直从微观和宏观两个层次进行孜孜不倦地探索研究。在自然科学领域内,人们可以根据空间尺度的大小来划分问题的“宏”和“微”。人类对物质认识的不断探索创造出了现代物质文明和精神文明。随着科学技术的发展和理论的创新,特别是 20 世纪 30 年代以后,人们越来越感到仅用传统微观和宏观两个尺寸去研究物质世界,显然力不从心,缺少精致性和准确性。自从 20 世纪初科学界提出量子力学和相对论以后,人类对物质世界的观察、研究和科学实践,从微观和宏观两个方面的研究都获得了巨大的进展。

1. 从微观到妙观

微观层次研究已经很深入,已进入原子核内部,人们已发现了质子、中子、电子等百种以上的基本粒子。随着研究的深入,研究的手段和装置也越来越庞大,所花的资金也越来越多。目前,人们所从事研究的物质世界的时空尺度已经很小,最小时间以 10^{-15}s 计,尺度空间以 10^{-10}m 计,这个世界离通常所说的微观世界相去甚远。因此,在 20 世纪 60 年代关于原子模型的大讨论时,我国著名科学家钱学森博士在一次谈话中,提出了“妙观”的概念,这个提法比较准确地反映了人类对物质世界至今最深层次的探索研究。人类从微观层次到妙观层次对物质世界的大规模研究是从第二次世界大战开始的,它的探索研究极大地推动了科学技术的发展,对人类的生活产生了极大影响。在这大规模研究探索过程中产生的一系列理论、方法、手段、工具以及发现的一系列新现象,大大地加快了人类物质文明的历史进程。由于妙观层次的探究,产生

了粒子加速器、对撞机、电子显微镜、原子弹、氢弹、原子能发电、高能辐射技术的广泛应用,以及激光的发明等等这些直接关系到人类生存和生活的事物。妙观层次的探索研究,除产生上述已为人们熟知的事物及影响外,还会继续发挥它的深远影响。

2. 从宏观到宇观

自从爱因斯坦提出相对论以后,特别是哈勃的宇宙大爆炸理论提出以后,人类对宏观的探索研究也走得更加遥远,已延伸到宇宙深空。它所用的时空尺度,更是涵盖了人类目前所使用的一切时空单位,长的单位有“光年”、“亿光年”,小的即妙观层次的时空单位,都在应用。“有”、“无”、“真空”、“湮灭”、“可见物质”、“暗物质”、“反物质”、“反世界”,这些玄而又玄的名词是它用来描述宇宙世界的常用词语。所以用传统的所谓“宏观”已经难以包容它了。因此,科学家在讨论物质观时提出了“宇观”的概念。用“宇观”研究物质世界非常深奥,而且同“妙观”领域的研究有相互交融回归的趋势。“宇观”研究所用的研究工具、设备及装置也非常庞大,所用的技术也是最先进的,费用高昂,如一架哈勃天体望远镜的耗资可高达10亿美元。虽然“宇观”所探索的结果、提出并需验证的理论离我们的生活很远,但科学家为它的探索所创造的技术手段、设备、产品和服务正在惠及人类的现实生活。

3. 微观物质同宏观物质联系的重新认识——介观

在从微观到“妙观”,以及从宏观到“宇观”的探索研究过程中,一系列相关的技术成果已经大大推动了人类物质文明的进程,同时也为人类进一步探索原子、分子层次的微观物质世界与一切具体宏观物质世界的本质联系提供了必要的理

论、方法和技术手段。应该说,正是由于科学家们对微观物质世界和宏观物质世界在“妙观”和“宇观”两个方面的深层次探索研究所积累的知识、方法和物质技术手段,促使一些科学家回归到对现实物质世界进行进一步的深入观察研究。

起初他们所观察的空间尺度,从亚微米级(即 $100\text{nm} \sim 1000\text{nm}$)开始,随着深入观察研究,发现在 $1\text{nm} \sim 100\text{nm}$ 空间内的物质世界存在许多奇异的物理性质。我们知道构成一切现实宏观物质的基本单元是原子和分子,因此原子和分子是现实宏观物质的微观起点。但在 $1\text{nm} \sim 100\text{nm}$ 这样的空间内,存在的原子和分子为数不多,却存在着一块近年来才吸引一大批科学家极大兴趣和研究的“处女地”。在这个研究领地,既不同于原子和分子这样的微观起点,又不同于现实宏观物质领域,它正好介于微观和宏观之间,科学家们把它称之为“介观物理”或“介观”。介观物理历经 40 多年的发展,已有长足进展,特别是近十几年来的高速发展,已形成了新兴的科学技术,即纳米科技(Nano-ST)。这是人类对现实物质世界认识的深层次的回归和把握,也是人们对“妙观”和“宇观”的深究和远探以后的现实回应。实现回归的“介观”将会引导人们采用技术手段师法自然,像天然植物那样,把存在于自然界的空气、水、无机物质自组装成人类生活所需要的各种各样的物品,如粮食、纤维、各种微型机器人、计算机等。

二、纳米概念的提出与纳米科技的发展历史

1. 纳米概念的提出

1 纳米为 10^{-9}m ,符号为 nm (nanometer)。它在长度单位中所处的位置见表 1-1。

表 1-1 纳米在长度单位中所处的位置

单位	缩写或符号	与主单位的比	
米	m	主单位	
分米	dm	1/10	10^{-1}
厘米	cm	1/100	10^{-2}
毫米	mm	1/1000	10^{-3}
丝米	dmm	1/10000	10^{-4}
忽米	cmm	1/100000	10^{-5}
微米	mm	1/1000000	10^{-6}
纳米	nm	1/1000000000	10^{-9}
埃	Å	1/10000000000	10^{-10}

图 1-1 给出一些自然界中存在的物体的尺寸。从图中

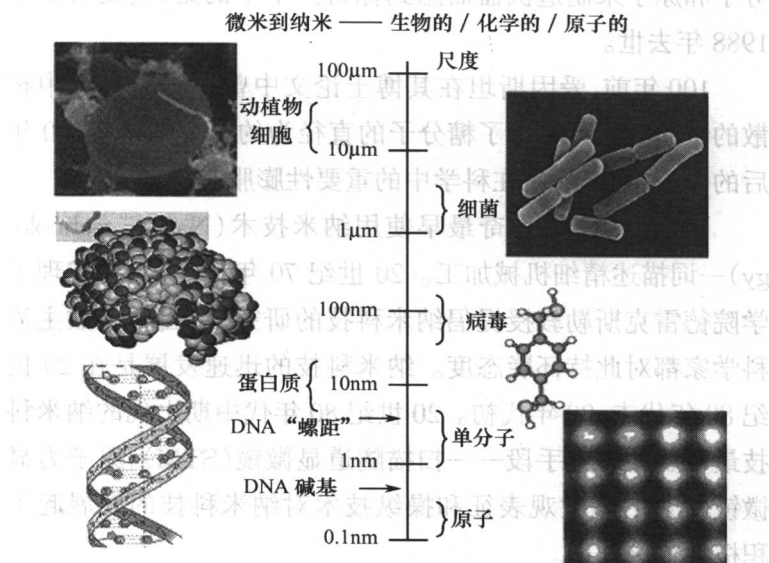


图 1-1 自然界中存在的物体的尺寸

可以看到,病毒、生物体内的蛋白质分子、DNA 分子以及单分子都属于纳米尺度。事实上,纳米尺度的粒子早已存在。比如,中国古代的徽墨粒子,出土铜镜涂层中的粒子,已在轮胎中使用了 100 年用作增强剂的炭黑颗粒等。疫苗(它常含有一种或多种纳米尺度的蛋白质)也可能跻身于纳米之列。

最早提出纳米尺度上科学和技术问题的是著名物理学家、诺贝尔奖获得者理查德·费曼。1959 年他在一次著名的讲演中提出:“如果人类能够在原子/分子的尺度上来加工材料、制备装置,将有许多激动人心的新发现。……我们需要新型的微型化仪器来操纵纳米结构并测定其性质。……那时,化学将变成根据人们的意愿逐个地准确放置原子的问题。”他还预言,“当 2000 年人们回顾历史的时候,他们将会为直接用分子和原子来制造机器而感到惊讶。”不幸的是,费曼博士于 1988 年去世。

100 年前,爱因斯坦在其博士论文中曾根据糖在水中扩散的试验数据计算出了糖分子的直径为约 1 个纳米。100 年后的今天,纳米尺度在科学中的重要性膨胀起来。

1974 年,唐尼古奇最早使用纳米技术(Nano-technology)一词描述精细机械加工。20 世纪 70 年代后期,麻省理工学院德雷克斯勒教授提倡纳米科技的研究,但当时多数主流科学家都对此持怀疑态度。纳米科技的迅速发展是在 20 世纪 80 年代末、90 年代初。20 世纪 80 年代中期出现的纳米科技最重要的研究手段——扫描隧道显微镜(STM)、原子力显微镜(AFM)等微观表征和操纵技术对纳米科技的发展起了积极的促进作用。

扫描探针显微镜(SPM,STM、AFM 等的总称)的出现,标